

УДК 626

А.С. ВАСИЛЕНКО, Ю.В. СЪЕДИНА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Статья посвящена проблеме моделирования локальных наземных объектов с целью их идентификации и автоматической классификации по одиночным изображениям спутникового дистанционного зондирования Земли. Для решения задачи построения математической модели объекта мониторинга использован нормальный закон распределения яркостных характеристик его изображения. Показано, что предлагаемая модель позволяет идентифицировать объект при любых его состояниях. Обнаружено структурное постоянство гистограммы яркости изображения. Установлены закономерности распределения яркости объекта в реальной ситуации. Практически обеспечивается высокая точность идентификации контролируемых объектов по параметрам изображений спутниковой съемки.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, множество состояний, гистограмма распределения яркостей, математическая модель, количество пикселей в изображении объекта, распознавание образов, идентификация.

Введение

Мониторинг промышленных предприятий особого назначения (оборудование системы нефтегазового хозяйства, атомные станции, зоны экологических катастроф и чрезвычайных ситуаций и прочее), которые, как правило, относятся к разряду локальных наземных объектов, выполняется методами и аппаратами дистанционного зондирования Земли. При этом целью исследования и наблюдения является определение состояния контролируемых объектов. В конечном итоге, речь идет о распознавании по внешнему облику интересующих объектов некоторого множества состояний, в которых они могут находиться. К этому множеству относятся, в частности, состояния, которые могут быть обусловлены нарушением выполнения функций в результате ошибок эксплуатации или террора и вандализма, стихийными явлениями природы (затопления, ураган, оползни и др.) или непредсказуемыми погодными изменениями (снегопады, ливни и др.).

Для построения автоматических классификаторов такого рода состояний на начальных этапах их создания необходим естественный поиск признаков, представляющих образы этих состояний, а также описания их классов формирования обобщенных образов [1 – 3]. Однако рассеивающие свойства материалов компонентов объектов, отличающиеся в каждом диапазоне спутникового зондирования из-за случайного характера, ошибок регистрации и обработки изображений, для решения последней задачи требуют наличия статистической информации по контролируемым объектам. Для ее получения необходимы целые специальные выборки спутниковых

изображений в каждом из состояний. Очевидно, что получение такой информации на современном этапе использования в мониторинге Земной поверхности по экономическим, погодным и ряду других причин в приемлемые сроки невозможно.

Отсюда очевидна целесообразность поиска детерминированных свойств состояний объектов, определяемых по одиночным изображениям и не нуждающихся в статистических обобщениях. Наряду с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в последние годы одним из направлений такого поиска является анализ закономерностей изменений гистограммы, описывающей распределение яркостей изображения объекта в том или ином состоянии. Здесь используется тот факт, что источником получения необходимых изображений может служить математическое моделирование отражающих свойств объекта.

Основная часть

Для объектов технического назначения, наблюдаемых при спутниковом зондировании, известны коэффициенты отражения любых компонентов интересующего нас наземного объекта [2, 5]. К ним относятся, в частности, стоянки транспортных средств, емкости для хранения жидкостей, кровли цехов и складских помещений, подъездные дороги и зеленые насаждения (массивы) и т.п.

Каждая из этих компонент, кроме собственных ей коэффициентов отражения (P_k), характеризуется вполне определенной площадью (S_k), которая при известной разрешающей способности канала спутниковой регистрации (δL) определяет число

разрешаемых элементов и обуславливает соответствующее количество пикселей в изображении объекта ($n_{кп}$). Следовательно,

$$S_{об} = \sum_{k=1}^{n_{ко}} S_k ; \quad n_{оп} = \frac{1}{(\delta L)^2} \cdot S_{об}, \quad (1)$$

где $S_{об}$ – площадь наблюдаемой поверхности всего объекта; $n_{ко}$ – количественный состав компонентов; $n_{оп}$ – общее число пикселей изображения объекта.

Учитывая прямую пропорциональность между яркостью компонент объекта на изображении спутниковой регистрации и их отражающими свойствами, яркость k -й компоненты можно представить, как

$$I_k = P_k \cdot Const, \quad (2)$$

где $Const$ – некоторая постоянная величина.

Согласно результатам теоретических и экспериментальных исследований, выражение для яркости каждой k -й компоненты объекта, которая регистрируется на спутниковом изображении, представляет собой нормальный закон распределения и при этом имеет вид:

$$f_k(I) = (\sigma_k \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{I - p_k \cdot Const}{\sigma_k} \right)^2 \right\}, \quad (3)$$

где σ_k – среднеквадратический разброс яркостей, обусловленный флюктуациями отражающих свойств материала k -й компоненты.

Следует заметить, что при моделировании, прежде чем воспользоваться приведенными выражениями, необходимо обеспечить возможность последующего графического представления яркости. В нашем случае константу $Const$ следует принять равной максимальному значению регистрируемой яркости (например, $Const=300$). В результате интересные распределения окажутся в границах диапазона яркостей изображений, регистрируемых спутниковой аппаратурой. При этом математическое ожидание яркостей компоненты должны принимать значения:

$$m_k(I) = P_k \cdot 300. \quad (4)$$

С учетом указанных замечаний, моделируемое выражение распределения плотностей вероятностей яркостей k -й компоненты должно быть окончательно представлено в такой записи:

$$f_k(I) = (\sigma_k \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{I - m_k \cdot (I)}{\sigma_k} \right)^2 \right\}. \quad (5)$$

Теперь необходимо учесть особенности построения гистограммы распределений яркости по имеющемуся изображению объекта в целом, путем использования обработки экспериментальной информации. Иными словами, при моделировании нужно учитывать количественный вклад в смесь распределений яркостей каждой компоненты, про-

порциональной ее площади в составе объекта. Соответственно этому распределение смеси, являющееся плотностью распределения яркостей изображения объекта, в аналитическом представлении модели должно принять следующий вид:

$$f_{CM}(I) = \sum_{k=1}^{n_{кq}} \frac{S_k}{S_{об}} (\sigma_k \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{I - m_k \cdot (I)}{\sigma_k} \right)^2 \right\}. \quad (6)$$

И, наконец, как завершение построения модели, количество пикселей изображения объекта, соответствующее каждой яркости дискретного диапазона регистрации, а значит, искомая гистограмма яркостей изображения в целом, и распределение их вероятностей должны определяться следующим образом:

$$n(I) = [f_{CM}(I) \cdot n_{оп}]; \quad P(I) = n(I) / \sum_{I=1}^{300} n(I), \quad (7)$$

где квадратные скобки [...] обозначают округление произведения до ближайшего целого числа.

Таким образом, алгоритм обработки исходных данных, составляющей аналитическую основу моделирования гистограммы вероятностей яркости изображения объекта, требует наличия плана застройки и монтажа конкретного объекта, площадей наблюдаемой поверхности всех его компонент, точно известных коэффициентов их отражения, предлагаемой математической модели и всего одного изображения спутниковой съемки этого объекта. При этом обеспечение идентификации достигаемой в процессе выполнения такой последовательности действий [4, 5]:

- обработка реального изображения интересующего объекта и получения гистограммы его яркостей;
- получение гистограммы яркостей заданного объекта путем моделирования этого процесса в условиях полной определенности параметров (площади компонент, коэффициента отражения) при произвольно выбранных среднеквадратических разбросах σ_k ;
- обеспечение зрительного и количественного совпадения модельной и экспериментальной гистограмм при последовательном изменении значений σ_k математической модели.

Заключение

Результаты исследований и рассмотренный подход моделирования локального объекта спутникового мониторинга позволили установить, что каждый объект при наличии полных данных о площадях компонент, его составляющих, о коэффициентах отражения материалов, может быть представлен математической моделью в виде распределения вероятностей яркостей предполагаемого космического изображения. Математическая модель объекта,

обеспечивающая формирование гистограмм распределения его яркостных свойств, позволяет:

- выполнить моделирование для любых состояний этого объекта при известных изменениях отражающих свойств и площадей поверхностей компонент в его пределах;

- обнаруживать структурное постоянство гистограммы распределения яркости каждого объекта от съемки к съемке при постоянстве его состояния;

- устанавливать закономерности изменения характера распределения яркостей изображения объекта от параметров, определяющих его состояние.

Наряду с основным назначением, данная модель может быть использована и для анализа информационного содержания гистограмм распределения яркостей произвольных объектов с неизвестными параметрами по изображениям их спутниковой съемки. Последнее обстоятельство характеризует некую универсальность и высокую эффективность такого моделирования не только в геодезии, но и в других смежных областях, таких как военная разведка и охрана границ.

Литература

1. Белозерский Л.А. Введение в системы автоматического распознавания / Л.А. Белозерский. – К.: Наукова думка, 2005. – 474 с.

2. Белозерский Л.А. Моделирование и анализ информативности распределений яркости локальных объектов спутникового мониторинга / Л.А. Белозерский // Искусственный интеллект. – 2007. – №4. – С. 239-252.

3. Немтинов В.А. Технология создания пространственных моделей территориально распределенных объектов с использованием геоинформационных систем / В.А. Немтинов // Информационные технологии. – 2008. – №8. – С. 23-25.

4. Майка де Мерс. Географические информационные системы / Майка де Мерс. – М.: Дата +, 2000. – 490 с.

5. Писаренко В.Г. Интеллектуальные робототехнические средства для разведки и нейтрализации опасных экологических происшествий / В.Г. Писаренко, И.А. Варавва, Ю.В. Писаренко и др. // Искусственный интеллект. – 2007. – №4. – С. 425-434.

Поступила в редакцию 10. 02.2009

Рецензент: канд. техн. наук, доцент, директор центра А.И. Горб, Навигационно-геодезический центр, Харьков, Украина.

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ СУПУТНИКОВОГО МОНОТОРИНГУ

А.С. Василенко, Ю.В. С'єдина

Стаття присвячена проблемі моделювання локальних наземних об'єктів з метою їх ідентифікації і автоматичної класифікації за одиночними зображеннями супутникового дистанційного зондування Землі. Для рішення задачі побудови математичної моделі об'єкта моніторингу, використано нормальний закон розподілу яскравостей характеристик його зображення. Показано, що запропонована модель дозволяє ідентифікувати об'єкт при будь-яких його станах. Зафіксована структурна сталість гістограми яскравості зображення. Встановлені закономірності розподілу яскравостей об'єкта в реальній ситуації. Практично забезпечується висока точність ідентифікації контролюючих об'єктів за параметрами зображень супутникової зйомки.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, численність стану, гістограма розподілу яскравості, математична модель, кількість пікселів у зображенні об'єкта, розпізнавання образів, ідентифікація

MODELING OF LOCAL OBJECTS SATELLITE MONITORING

A.V. Vasylenko, Y.V. Syedin

Article is devoted to a problem of modeling of local ground objects with the purpose of their identification and automatic classification by the single images of satellite remote sounding of the Earth. For the decision of a task of construction of mathematical model of monitoring object, the law of distribution brightness's of its image, is used. It is shown, that the offered model allows to identify object at any its condition. The structural constancy diagram of brightness of the image is revealed. The laws of distribution of brightness of object in a real situation are established. In practice the high accuracy of identification of controlled objects on parameters of the images of satellite shooting is provided.

Key words: satellite monitoring; set of condition, diagram of distribution of brightness's, mathematical model, amount of pixels in image of object, recognition of images, identification

Василенко Анатолий Сергеевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

С'єдина Юлия Владимировна – студент кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.